

Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf ein Diodenlaserbauelement mit Kühlelement in Form eines Mehrfachsubstrates gemäß Oberbegriff Patentanspruch 1 oder 2.

Ein Diodenlaserbauelement ist im Sinne der Erfindung eine Anordnung, die aus wenigstens einem Diodenlaser oder einer Diodenlaseranordnung mit mehreren Diodenlasern oder Emittern sowie aus einem Kühlelement besteht. Zusätzlich können bei dem Diodenlaserbauelement auch weitere Bauelemente beispielsweise zur Ansteuerung des Diodenlasers oder der Diodenlaseranordnung vorgesehen sein.

Bekannt sind weiterhin mehrschichtige Kühlanordnungen oder Kühlsysteme für elektrische und elektronische Bauelemente, insbesondere auch solche als Wärmesenke für Hochleistungs-Laserdioden oder Hochleistungs-Laserdiodenanordnungen (US 51 05 430 A und DE 43 15 580 A1).

Bei bekannten Kühlsystemen sind in dem stapelartig aneinander anschließenden Schichten Kühlkanäle ausgebildet, die von einem flüssigen Kühlmedium, beispielsweise Wasser durchströmt werden. Diese Kanäle sind den bekannten Systemen typischerweise Mikro-Kanäle, die in den Schichten in unmittelbarer Nähe des zu kühlenden Bauelementes durch dreidimensionale Mikro-Strukturen gebildet sind, um so durch eine möglichst große, mit dem Kühlmedium in Kontakt kommende Oberfläche eine Verbesserung der Kühlwirkung zu erreichen. Durch den Einsatz einer derartigen Wärmesenke kann der Wärmewiderstand gegenüber einem konventionellen konduktiven Kühler um einen Faktor 2-5 reduziert werden. Das jeweils zu kühlende Bauelement ist zumindest thermisch mit dem Kühler verbunden. Unter dem Halbleiter-Bauelement sind die Mikro-Kanäle ausgebildet. Zum Zuführen und Abführen sind im Kühlelement Zu- und Abführkanäle ausgebildet. Bekannt ist auch (DE 43 15 580 A1), als Material für die Schichten des als Mehrschichtelement ausgeführten Kühlkörpers Werkstoffe mit hoher Wärmeleitfähigkeit zu verwenden, beispielsweise Kupfer, T-cBN, Diamant usw.

Bekannt ist weiterhin eine Anordnung (US 50 99 910 A), bei der ein großflächiger Kühler durch eine Vielzahl von Mikro-Kanälen unter einer zu kühlenden Fläche erzeugt ist. Die Besonderheit bei dieser bekannten Anordnung besteht in der speziellen Form der mäanderförmigen Kühlmittelführung durch die Mikro-Kanäle. Die Anordnung eignet sich zum Kühlen von elektronischen Bauelementen allgemein.

Bekannt ist weiterhin eine Kühlanordnung (US 45 73 067), die speziell für kompakte integrierte Schaltkreise bestimmt ist. Zur Vergrößerung der Kühl- bzw. Wärmetauscherfläche werden Kühlfinnen verwendet, die in einer von dem Kühlmedium durchströmten Kammer untergebracht sind.

Bekannt ist schließlich auch eine als Kreuzstrom-Wärmetauscher ausgebildete Kühlanordnung (US 45 16 632), die aus mehreren, aufeinander gelegten, strukturierten Blechen besteht.

Nachteilig bei bekannten Kühlelementen, die aus Metallschichten oder Metallfolien bestehen, ist, daß während oder nach einem Montagevorgang, aber auch während der Verwendung thermisch bedingte Verformungen möglich sind, die dann zu Spannungen in dem am Kühlelement vorgesehenen Halbleiter-Bauelement und damit zu einer Verringerung der Lebensdauer dieses Bauelementes führen. Bei Kühlern aus nichtleitendem Material besteht hingegen die Notwendigkeit, leitfähige Schichten galvanisch aufzubringen, und zwar als Kontaktschichten und Leiterbahnen. Derartige galvanisch aufgetragene Schichten verfügen aber in der Regel nur über sehr geringe Dicken, so daß große Ohmsche Verlu-

ste auftreten und hohe Stromdichten in den leitenden Schichten nicht möglich sind, da diese zu einer metallurgischen Veränderung der leitenden Schichten, d. h. der Leiterbahnen und Kontaktflächen führen können. Außerdem lassen sich nichtleitende Materialien oftmals nur schwer strukturieren, so daß die Herstellung der notwendigen Kühlkanäle sehr aufwendig ist.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Diodenlaserbauelement aufzuzeigen, welches bei der Möglichkeit einer einfachen Herstellung des Kühlelementes und optimaler Kühlwirkung die Nachteile der bekannten Diodenlaserbauelemente und deren Kühlelemente vermeidet.

Zur Lösung dieser Aufgabe ist ein Diodenlaserbauelement entsprechend dem kennzeichnenden Teil des Patentanspruches 1 oder 2 ausgebildet.

Bei dem erfindungsgemäßen Diodenlaserbauelement ist trotz Verwendung von Metallschichten, die zur Bildung der Kühlkanäle besonders einfach strukturierbar sind, der Wärmeausdehnungskoeffizient zumindest an der Montagefläche kleiner als der Wärmeausdehnungskoeffizient des Metalls der Metallschichten und entspricht dem Wärmeausdehnungskoeffizienten des Chip-Materials der Laserdiodenanordnung, so daß temperaturbedingte mechanische Spannungen, insbesondere auch im Chip-Material, wirksam vermieden sind.

Bei dem erfindungsgemäßen Diodenlaserbauelement bzw. deren Kühlelement sind das Material, welches einen im Vergleich zu dem Wärmeausdehnungskoeffizienten von Metall wesentlich kleineren Wärmeausdehnungskoeffizienten besitzt, in dem Mehrschichtmaterial so angeordnet und der Anteil an diesem Material so groß gewählt, daß die thermische Festigkeit dieses Materials größer ist als die thermische Festigkeit der Metallschichten, d. h. die thermische Ausdehnung des Kühlelementes zumindest an der Montagefläche im wesentlichen nur durch die Schicht aus dem Material mit dem kleineren Wärmeausdehnungskoeffizienten bestimmt ist.

Weiterhin ist das erfindungsgemäße Kühlelement oder das Mehrfach-Substrat bevorzugt symmetrisch zu einer Mittelebene ausgebildet, so daß das Kühlelement trotz der verwendeten Metallschichten insgesamt einen reduzierten bzw. "gebremsten" Ausdehnungskoeffizienten besitzt, ohne daß sich das Kühlelement bei thermischen Wechselbelastungen verbiegt. Die von dem wärmetransportierenden Medium durchströmten Kanäle sind bei dem erfindungsgemäßen Kühlelement Makro-Kanäle, d. h. solche mit relativ großen Abmessungen, die preiswert gefertigt werden.

Diese Kanäle sind dann bevorzugt durch einfache Schlitz- oder Ausnehmungen in einer Schicht realisiert. Diese Schlitz- oder Ausnehmungen sind dann durch angrenzende Schichten zur Bildung des jeweiligen Kanales geschlossen. Die erforderliche Kühlwirkung wird dadurch erreicht, daß der Strömungsweg für das Kühlmedium wenigstens zwei derartige Kanäle in unterschiedlichen Ebenen des Mehrfach-Substrates aufweist, die durch eine Öffnung miteinander verbunden sind, so daß im Bereich dieser Öffnung die Strömung des Kühlmediums nicht nur umgelenkt wird, sondern im Bereich dieser Öffnung wenigstens eine angrenzende Schicht in einer Achsrichtung senkrecht zur Mittelebene des Kühlelementes von dem Kühlmedium angeströmt wird, so daß dort durch eine turbulente Strömung ein wesentlich verbesserter Wärmeübergang zwischen dem Kühlelement und dem Kühlmedium erreicht wird.

Durch die Makro-Struktur der Kanäle ist eine preiswerte Fertigung des erfindungsgemäßen Kühlelementes möglich, und zwar ohne eine Verschlechterung der Kühlwirkung, da durch den Aufprall des Kühlmediums an den zwei Kanäle verbindenden Öffnungen durch Turbulenz eine verbesserte

Wärmeübertragung an das Kühlmedium erreicht wird.

Durch den symmetrischen Aufbau werden weiterhin auch ein Wölben des Kühlelementes bei wechselnden Temperaturen und damit zusätzliche Beanspruchungen des am Kühlelement vorgesehenen Diodenlaserelements vermieden. Durch die Auswahl der Anzahl der Schichten und/oder deren Dicke ist es weiterhin auch möglich, den Wärmeausdehnungskoeffizienten des Kühlelementes so einzustellen, daß dieser zumindest an der Montagefläche nicht oder allenfalls nur noch vernachlässigbar gering von dem Wärmeausdehnungskoeffizienten des Materials der Laserdiodenanordnung, beispielsweise von GaAs abweicht.

Ein weiterer wesentlicher Vorteil besteht darin, daß auch die Festigkeit bzw. Formbeständigkeit gegenüber mechanischen Belastungen durch den Anteil an Keramik wesentlich verbessert wird.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform erstreckt sich der Teilbereich oder Einsatz aus Keramik und/oder Diamant und/oder T-cBN über die volle Breite der Montagefläche.

Bei dem erfindungsgemäßen Kühlelement sind die verwendeten Kupferschichten und Keramikschichten jeweils bevorzugt unter Verwendung der DCB-Technik flächig miteinander verbunden, und zwar ohne Verwendung zusätzlicher Hilfsstoffe, so daß der geringere Wärmeausdehnungskoeffizient der wenigstens einen Keramikschicht sich unmittelbar reduzierend auf den Wärmeausdehnungskoeffizienten des gesamten, mehrschichtigen Kühlelementes auswirken kann, d.h. die Kupferschichten unmittelbar und ohne eine nachgiebige Zwischenschicht in ihrer Wärmeausdehnung durch die wenigstens eine Keramikschicht gebremst werden.

Zur Bildung der Kühlstruktur bzw. Kühlebene des Kühlelementes ist wenigstens eine Schicht mit wenigstens einer Ausnehmung versehen, die zur Bildung wenigstens eines in der Ebene dieser Schicht erstreckenden Kanals einen den Kanal bildenden schlitzförmigen Abschnitt aufweist und durch angrenzende Schichten an der Ober- und Unterseite verschlossen ist. In den angrenzenden Schichten sind dann räumlich gegeneinander versetzt in den Kanal mündende Öffnungen zum Zu- und Abführen des den Kanal durchströmenden Kühlmediums vorgesehen.

In dem mehrlagigen Kühlelement können dann mehrere derartige Kühlebenen vorgesehen sein, die entweder mit ihren durch die Öffnungen gebildeten Ein- und Auslässen funktionsmäßig in Serie liegen oder aber parallel zueinander angeordnet sind.

Um auch eine möglichst wirksame Kühlwirkung bzw. Wärmesenke für die Laserdiodenanordnung zu erreichen, ist bei einer Ausführungsform der Erfindung beidseitig von einer Kühlebene jeweils eine Kupferzwischenschicht vorgesehen, die flächig mit der Kühlebene verbunden ist, die wiederum aus Kupfer besteht. Die Kupferzwischenschichten sind dann an ihren außenliegenden Seiten mit einer weiteren äußeren Kupferschicht versehen, und auf einer dieser äußeren Schichten befindet sich die Laserdiodenanordnung, wobei unterhalb der Laserdiodenanordnung in der Kupferzwischenschicht zur Reduzierung des Wärmeausdehnungskoeffizienten ein Einsatz oder eine vergrabene Schicht aus Diamant oder T-cBN eingebracht ist, der auch eine Verbesserung der Wärmeleitfähigkeit bringt, wobei die verbesserte Leitfähigkeit des eingelegten Materials bei dieser Ausführungsform zugleich als Wärmespreizer verwendet wird.

Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

Die Erfindung wird in Folgenden anhand der Figuren an Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 in perspektivischer Explosionsdarstellung ein unter Verwendung eines Kühlkörpers oder Substrates gemäß der

Erfindung hergestelltes Diodenlaserbauelement;

Fig. 2 in ähnlicher Darstellung wie Fig. 1 eine abgewandelte Ausführungsform;

Fig. 3-7 in sehr vereinfachten Darstellungen weitere, bevorzugte Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Diodenlaserbauelementes mit Kühlelement.

In der Fig. 1 ist ein mehrlagiges, zugleich als Kühlkörper oder Kühlelement ausgebildetes Substrat wiedergegeben, welches insgesamt aus fünf Schichten oder Lagen besteht, nämlich aus der in der Fig. 1 oberen Schicht 2 aus Keramik, beispielsweise aus einer Aluminiumoxyd-Keramik (Al_2O_3) aus der von einer Kupferfolie gebildeten Kupferschicht 3, aus der ebenfalls aus einer Kupferfolie gebildeten Kupferschicht 4, aus der von einer Kupferfolie gebildeten Kupferschicht 5 sowie aus der Keramikschicht 6, die ebenfalls beispielsweise eine Aluminiumoxyd-Keramik ist.

Sämtliche Schichten 2-6 besitzen bei der dargestellten Ausführungsform einen quadratischen Zuschnitt. Es versteht sich, daß auch andere Zuschnitte für diese Schichten denkbar sind. Weiterhin besitzen sämtlich Schichten 2-6 jeweils die gleiche Größe.

Auf der Oberseite der Keramikschicht 2 sind Leiterbahnen oder Kontaktflächen 7 vorgesehen. Weiterhin befinden sich auf der Oberseite der Keramikschicht 2 verschiedene elektronische Bauelemente 8-10 in Form von Chips. Diese sind in geeigneter Weise und unter Verwendung bekannter Techniken an der Oberseite der Keramikschicht 2 bzw. an den dortigen Leiterbahnen 7 und Kontaktflächen befestigt.

Außerhalb des von den Leiterbahnen 7 und den Bauelementen 8-10 eingenommenen Bereichs besitzt die Keramikschicht 2 zwei Öffnungen oder Durchlässe 11 bzw. 12, von denen der Durchlaß 11 entsprechend dem Pfeil A zum Zuführen eines Kühlmediums und der Durchlaß 12 entsprechend den Pfeil B zum Abführen des Kühlmediums dienen. Das Zuführen und Abführen dieses Kühlmediums, welches im einfachsten Fall Wasser ist, aber auch ein anderes flüssiges oder gasförmiges Medium sein kann, erfolgt über nicht dargestellte Kanäle, die dicht an die Durchlässe 11 und 12 angeschlossen sind.

In der Kupferschicht 3 ist eine zur Umfang dieser Schicht hin geschlossene erste Öffnung 13 vorgesehen, die im wesentlichen aus zwei parallelen Abschnitten 13' und 13'' besteht, die über einen Abschnitt 13''' miteinander verbunden sind. Weiterhin besitzt die Kupferschicht 3 eine von der Öffnung 13 getrennte Öffnung 14.

Die Kupferschicht 4 besitzt insgesamt drei räumlich gegeneinander versetzte und voneinander getrennte fensterartige Öffnungen 15, 16 und 17. In der Kupferschicht 5 ist schließlich eine Ausnehmung oder Öffnung 18 vorgesehen, die entsprechend der Öffnung 13 zwei im wesentlichen parallele Abschnitte 18' und 18'' sowie einen diesen miteinander verbindenden Abschnitt 18''' aufweist.

Die Durchlaßöffnungen 11 und 12 sowie die Öffnungen 13-18 sind derart in den einzelnen Schichten angeordnet und orientiert, daß bei miteinander verbundenen Schichten 2-6 die Öffnungen 13 und 18 mit ihren Abschnitten 13'-13'' bzw. 18'-18''' jeweils in der Ebene dieser Schichten verlaufende Verteilerkanäle zwischen der Keramikschicht 2 und der Kupferschicht 4 bzw. zwischen der Kupferschicht 4 und der Keramikschicht 6 bilden, daß die Abschnitte 13' und 18' im wesentlichen deckungsgleich untereinander parallel zueinander verlaufen sowie auch die Abschnitte 13'' und 18'', daß die Durchlaßöffnung 11 in den Abschnitt 13' im Bereich des einen Endes dieses Abschnittes mündet, daß das andere Ende des Abschnittes 13' über die fensterartige Öffnung 15 mit dem Abschnitt 18''' entfernt liegenden Ende des Abschnittes 18' in Verbindung steht, daß das dem Abschnitt 13'' entfernte liegende Ende des Abschnittes 13'' über die

fensterartige Öffnung 16 mit dem Abschnitt 13^{'''} entferntliegenden Ende des Abschnittes 18^{'''} in Verbindung steht, und daß die jeweils den gleichen Querschnitt aufweisenden Öffnungen 12, 14 und 17 deckungsgleich miteinander angeordnet sind und einen durch die Schichten 2-4 reichenden Kanal zum Rückführen des Kühlmediums bilden, der von dem Abschnitt 18^{'''} ausgeht. Die fensterartigen Öffnungen 15 und 16 besitzen bei der dargestellten Ausführungsform einen Querschnitt, der so gewählt ist, daß sich für das Kühlmedium in den Abschnitten 13' und 13'' bzw. 18' und 18'' eine gleichmäßige Verteilung ergibt.

Durch die vorbeschriebene Ausbildung wird das über die Durchlaßöffnung 11 zugeführte Kühlmedium in der von der Öffnung 13 gebildeten Kanalanordnung verteilt, und zwar auf die beiden Abschnitte 13' und 13'' und strömt in diesen Abschnitten bei der für die Fig. 1 gewählten Darstellung von vorne nach hinten (Pfeile C). Nach dem Durchtritt durch die Öffnungen 15 und 16 strömt das Kühlmedium dann in den Abschnitten 18' und 18'' in umgekehrter Richtung, d. h. bei der für die Fig. 1 gewählten Darstellung von hinten nach vorne (Pfeile D), so daß sich ein Gegenstromprinzip und damit eine möglichst gleichmäßige Kühlung des Substrates 1 ergibt.

Für die Kühlwirkung wesentlich ist auch, daß das Kühlmedium beim Durchströmen des Substrates bzw. der in diesem Substrat durch die Öffnungen 13 und 18 gebildeten Kühlkanäle mehrfach umgelenkt wird, und zwar jeweils aus einer Richtung senkrecht zur Ebene des Substrates in eine in dieser Ebene liegende Strömungsrichtung und umgekehrt. Hierbei werden insbesondere auch die Kupferschicht 4 sowie die Keramikschicht 6 intensiv von dem Kühlmedium angeströmt.

Auf der Unterseite der Keramikschicht 6 sind wiederum Leiterbahnen oder Kontaktflächen 7' sowie Bauelemente 8 und 9 in Form von Chips vorgesehen.

Wesentlich bei dem beschriebenen Substrat ist auch, daß dieses hinsichtlich der für die Schichten verwendeten Materialien symmetrisch zu einer parallel zur Ober- und Unterseite des Substrates 1 verlaufenden Mittelebene ausgebildet ist, die bei der dargestellten Ausführungsform die Mittelebene der Kupferschicht 4 ist. Durch diese symmetrische Ausbildung ist gewährleistet, daß Temperaturänderungen des Substrates nicht zu einer bimetalartigen Verformung führen können. Durch die Verwendung der Keramikschichten 2 und 6 ist gewährleistet, daß das Substrat gegenüber einem Substrat oder Kühlkörper welches bzw. welcher ausschließlich aus Metall oder Kupfer besteht, nur einen stark reduzierten Wärmeausdehnungskoeffizienten aufweist. Während die Kupferschichten 3-5 einen Wärmeausdehnungskoeffizienten größer als $15 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ aufweisen, liegt der Wärmeausdehnungskoeffizient der Keramikschichten 2 und 6 deutlich unter $10 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, so daß für das Substrat 1 bzw. für das dieses Substrat bildende Verbundmaterial ein gegenüber Kupfer stark reduzierter Wärmeausdehnungskoeffizient erreicht wird. Gleichzeitig weist das Substrat aber eine hohe Wärmeleitfähigkeit auf, was nicht nur für die Kupferschichten 3-5, sondern auch für die Keramikschichten 2 und 6 gilt, so daß auch insoweit eine hohe Kühlwirkung erreicht wird.

Es versteht sich, daß die Schichten 2-6 flächig miteinander zu dem Substrat 1 verbunden sind. Hierfür eignen sich die unterschiedlichsten Techniken, beispielsweise DCB-Verfahren oder Aktiv-Lot-Verfahren.

Die vorbeschriebene Ausbildung des Substrates 1 bzw. die dortige Gestaltung der von dem Kühlmedium durchströmten Kanäle hat speziell bei durch Löten miteinander verbundenen Schichten 2-6 auch den Vorteil, daß die Angriffsflächen innerhalb der Kanäle, an denen das Kühlme-

dium auf das verwendete Lot einwirken könnte, äußerst klein sind.

Die Fig. 2 zeigt ein Substrat 1a, welches sich von dem Substrat 1 im wesentlichen nur dadurch unterscheidet, daß zwischen der Schicht 2 und der Schicht 3 sowie ebenso zwischen der Schicht 5 und der Schicht 6 jeweils eine weitere Schicht 19 bzw. 20 vorgesehen ist, die bei der dargestellten Ausführungsform jeweils eine von einem Zuschnitt einer Kupferfolie gebildete Kupferschicht ist und für eine noch gleichmäßigere Abführung der Wärme von den Keramikschichten 2 bzw. 6 sorgt. Für den Durchtritt des Kühlmediums ist die Schicht 19 mit zwei Öffnungen 21 und 22 versehen, von denen die Öffnung 20 deckungsgleich mit der Öffnung 11 und die Öffnung 22 deckungsgleich mit der Öffnung 12 angeordnet ist.

Die Herstellung des Substrates 1 ist beispielsweise in folgender Weise möglich:

1. Keramik aus Aluminiumoxyd durch Ritzen und Brechen auf das Maß der Schicht 2 bringen und anschließend Öffnungen 11 und 12 durch Schneiden oder auf andere Weise einbringen;
2. Kupferfolie für die Leiterbahn und Kontaktflächen 7 auf Maß schneiden;
3. Kupferfolie für die Leiterbahn 7 mit einer Oxydschicht versehen, und zwar durch Wärmebehandlung über drei Minuten bei 400°C;
4. Kupferschicht für Leiterbahn 7 mittels DCB-Verfahren auf Keramikschicht 2 befestigen, d. h. hierfür Kupferfolie für Leiterbahn 7 auf Keramikschicht 2 aufliegen und 2,5 Minuten bei 1070°C in Schutzgas mit weniger als 40 ppmO₂ behandeln.
5. Ätzen der Kupferschicht des im Verfahrensschritt 4 hergestellten Verbundes zur Erzeugung der Leiterbahn 7 sowie der Kontaktflächen;
6. Zuschneiden und Ätzen der Kupferschicht 3;
7. Zuschneiden und Ätzen der Kupferschicht 4;
8. Zuschneiden und Ätzen der Kupferschicht 5;
9. Aluminiumoxyd-Keramik durch Ritzen und Brechen auf das erforderliche Maß für die Keramikschicht 6 bringen;
10. Kupferfolie für die Leiterbahn 7' und die weiteren Kontaktflächen auf Maß zuschneiden;
11. Zugeschnittene Kupferfolie mit einer Oxydschicht durch Wärmebehandlung über 3 Minuten bei 400°C versehen.
12. Kupferfolie mit Keramikschicht 6 durch DCB-Verfahren verbinden, und zwar durch Auflegen der Kupferfolie auf die Keramikschicht 6 und durch Behandeln über eine Dauer von 2,5 Minuten bei 1070°C in Schutzgasatmosphäre mit weniger als 40 ppmO₂;
13. Herstellung der Leiterbahn 7 sowie weiterer Kontaktflächen aus der Kupferschicht durch Ätzen;
14. Kupferschichten 3-5 durch Wärmebehandlung (bei 400°C und über Dauer von 3 Minuten) mit Oxydschicht versehen;
15. Aufeinanderliegen der Schichten 2-6 und Verbinden mittels des DCB-Prozesses, d. h. durch Behandlung über eine Zeitdauer von 2,5 Minuten bei 1077°C in Schutzgas mit weniger als 40 ppmO₂.

Die Herstellung des Substrates 1a erfolgt in gleicher Weise, lediglich mit der zusätzlichen Maßnahme, daß auch die Schichten 19 und 20 durch Zuschneiden sowie die Schicht 19 bzw. deren Öffnungen 21 und 22 durch Ätzen hergestellt werden.

Die Dicke der einzelnen Schichten ist beispielsweise wie folgt gewählt:

Schicht 2 0,25–1 mm
 Schicht 3 0,3–3 mm
 Schicht 4 0,1–0,5 mm
 Schicht 5 0,3–3,0 mm
 Schicht 6 0,25–1,0 mm.

Die Dicke der zusätzlichen Schichten 19 und 20 beträgt beispielsweise 0,1–0,5 mm.

Die Ausnehmungen bzw. Öffnungen 11–18 sind jeweils durchgehend ausgeführt, d. h. sie reichen von der Oberseite bis an die Unterseite der jeweiligen Schicht.

Bei dem vorstehend beschriebenen Ausführungsbeispiel ist mit 10 jeweils eine Hochleistungslaserdiode oder ein Hochleistungslaserdiodenchip mit einem oder aber bevorzugt mit mehreren Emittern zur Abgabe eines oder mehrerer Laserstrahlen bezeichnet. 8 und 9 sind dann zusätzliche Bauelemente oder Chips, die beispielsweise zur Ansteuerung des Laser-Chips dienen, aber nicht unbedingt vorhanden sein müssen.

Bei den in den Fig. 1 und 2 wiedergegebenen Ausführungsformen weist das als Kühlelement dienende Mehrfachsubstrat 1 bzw. 1a zwei Kühlebenen auf, die im wesentlichen von den Kupferschichten 3 und 5 in Verbindung mit den jeweils angrenzenden Schichten gebildet sind.

Die Fig. 3–5 zeigen weitere, bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung, wobei bei den Ausführungen der Fig. 3–6 das zugleich als Kühlelement ausgebildete Substrat ebenfalls symmetrisch zu einer Mittelebene M ausgeführt ist.

Bei der in der Fig. 3 wiedergegebenen Ausführungsform umfaßt das Substrat 1b eine Kühlebene 23, an der jeweils beidseitig eine Schicht 24 vorgesehen und mit der Kühlebene flächig verbunden ist. Wie in der Fig. 4 dargestellt ist, besteht jede Schicht 24 aus einer Folie oder Platte 25 aus Kupfer, die Öffnungen 26 und 29 aufweist. In die Öffnung 26 ist ein plattenförmiger Einsatz 27 aus Keramik eingesetzt, dessen Dicke gleich der Dicke der Platte ist. In die Öffnung 29 ist ein streifen- oder rechteckförmiger Einsatz 30 aus einem Material mit hoher Wärmeleitfähigkeit, nämlich aus Diamant oder T-cBN eingesetzt. Auf der der Kühlebene 23 abgewandten Seite ist eine Kupferschicht 28 auf jeder Schicht 24 flächig befestigt. Die obere Kupferschicht 28 bildet oberhalb des Einsatzes 30 die Montagefläche, an der der Hochleistungslaser-Chip 10 befestigt ist, d. h. dieser befindet sich oberhalb des Einsatzes 30 der oberen Schicht 24. Die aktive Schicht der Hochleistungslaserdiodenanordnung 10 bzw. der Laser-Licht emittierenden Emitter liegt in einer Ebene parallel zu den Oberflächenseiten der Kupferschicht 28, und zwar mit der sogenannten "slow axis" in einer Achsrichtung senkrecht zur Zeichenebene der Fig. 3 und mit der sogenannten "fast axis" senkrecht zu der Ebene der Kupferschicht 28. Der Einsatz 30 ist dabei so gewählt, daß dessen Länge senkrecht zur Zeichenebene der Fig. 3 größer ist als die Breite, die die Hochleistungslaserdiodenanordnung 10 in dieser Achsrichtung besitzt.

Hergestellt wird das Substrat 1b beispielsweise dadurch, daß in einem ersten Arbeitsgang mit Hilfe des DCB-Verfahrens die die Kühlebene bildenden Kupferschichten und auch die Schichten 24 mit dem Einsatz 27 aus Keramik miteinander verbunden werden. In einem zweiten Arbeitsgang erfolgt dann mit Hilfe eines Aktiv-Lot-Verfahrens das Einlöten der vorzugsweise mit einer Metallisierung versehenen Einsätze 30 in die beiden Schichten 24 bzw. die dortigen Ausnehmungen 29, wobei in einem dritten Verfahrensschritt oder aber bereits in dem zweiten Verfahrensschnitt ebenfalls mit Hilfe des Aktiv-Lotes die beiden äußeren Kupferschichten 28 auf die außenliegenden Oberflächenseiten der Schicht 24 aufgebracht werden. Die Einsätze 30 unterhalb der Hochleistungslaserdiodenanordnung 10 tragen entscheidend zur

Reduzierung des Wärmeausdehnungskoeffizienten des Substrates 1b insbesondere im Bereich der Montagefläche bei, bewirken aber auch eine verbesserte Wärmeableitung der Verlustwärme von der Hochleistungsdiodenlaseranordnung 10 an die Kühlebene 23. Zugleich wird die hohe Wärmeleitfähigkeit des Einsatzes auch als Wärmespreizer verwendet.

Die Einsätze 27 und 30 bilden somit vergrabene Bereiche, die den Wärmeausdehnungskoeffizienten des Substrates 1b an den Wärmeausdehnungskoeffizienten des Chip-Materials (GaAs) der Diodenlaseranordnung 10 anpassen.

Fig. 5 zeigt nochmals in etwas vergrößerter Darstellung und mehr im Detail eine mögliche Ausbildung der Kühlebene 23. Diese Kühlebene 23 besteht bei der dargestellten Ausführungsform aus den drei Kupferschichten 3, 4 und 5, die flächig miteinander verbunden sind, wobei die Kupferschichten 3 und 5 die von den Ausnehmungen 13 und 18 gebildeten Kanäle 23' aufweisen und in der Kupferschicht 4 wenigstens ein von den Öffnungen 15 und 16 gebildeter Durchlaß 23" vorgesehen ist. Das Kühlmedium (z. B. Kühlwasser) durchströmt die Schichten 3–5 bzw. die dort gebildeten Kanäle 23' und Öffnungen 23" in einer zu den Fig. 1 und 2 umgekehrten Strömungsrichtung. Der wenigstens eine Durchlaß 23" befindet sich in der Kühlebene 23 unterhalb des Einsatzes 30 bzw. unterhalb der Montagefläche für die Hochleistungslaserdiodenanordnung 10, so daß durch den Aufprall des Kühlmediums nach dem Durchtritt durch den Durchlaß 23" auf die Unterseite des Einsatzes 30 eine verbesserte Wärmeübertragung der Verlustwärme an das Kühlmedium (Kühlwasser) erreicht wird. Eine Besonderheit dieser Ausführung besteht somit auch darin, daß der eine Einsatz 30 unterhalb der Montagefläche direkt von dem Kühlmedium angeströmt wird.

Es versteht sich, daß die Kühlebene 23 auch anders ausgebildet sein kann, wobei die von den durchgehenden Ausnehmungen 13 und 18 in den Schichten 3 und 5 hergestellten Kanäle 23' den Vorteil haben, daß diese Kanäle besonders einfach realisiert werden können.

Fig. 6 zeigt als weitere Ausführungsform ein Substrat 1c, welches sich von dem Substrat 1b im wesentlichen zunächst dadurch unterscheidet, daß sich die äußeren Kupferschichten 28, von denen die obere Kupferschicht 28 wiederum die Montagefläche für die Hochleistungslaserdiodenanordnung 10 bildet, nur über einen Teilbereich der Ober- und Unterseite des Substrates 1c erstrecken, und zwar oberhalb der Einsätze 30, und daß anstelle der Schichten 24 Schichten 24' verwendet sind. Letztere unterscheiden sich von den Schichten 24 dadurch, daß die Metallplatte 25 die Ausnehmung 26 nicht besitzt und auch der Keramikeinsatz 27 nicht vorhanden ist. Auf die der Kühlebene 23 abgewandten Oberflächenseiten der Schichten 24' eine äußere Keramikschiicht 31 aufgebracht ist, auf der eine weitere Metallisierung bzw. Metallschicht 32 für Leiterbahnen aufgebracht ist.

Bei dem in der Fig. 6 wiedergegebenen Substrat sind die äußeren Keramikschiichten 31 Bestandteil einer Teilschicht 33, die ähnlich den Schichten 24 aus einer Folie oder Platte 34 aus Kupfer bestehen. Die äußeren Keramikschiichten 31 sind dann als Einsätze in Ausnehmungen dieser Platte 34 eingesetzt. Die Kupferschicht 28 deckt den jeweiligen Einsatz 30 vollständig ab, d. h. überlappt die jeweilige Ausnehmung für diesen Einsatz. Über die Platte 34 können auch elektrische oder thermische Verbindungen bzw. Brücken von der äußeren Kupferschicht 32 an die Schicht 24 bzw. den dortigen Kupferbereich hergestellt werden.

Die Funktion des Keramikeinsatzes 27 übernehmen bei dem Substrat 1c die beiden äußeren Keramikschiichten 31. Grundsätzlich ist es auch möglich, die Schichten 28 jeweils als Bestandteil der Platte 34 bzw. der Schicht 33 auszubilden.

Die Herstellung des Substrates 1c erfolgt bevorzugt derart, daß in einem Arbeitsgang mit Hilfe des DCB-Verfahrens die die Kühlebene 23 bildenden Schichten, die Schichten 24' ohne die Einsätze 30, die Schichten 33 mit den äußeren Keramikschichten 31 und die die Leiterbahnen bildenden äußeren Kupferschichten 32 mittels des DCB-Prozesses miteinander verbunden werden. In einem zweiten Verfahrensschritt werden dann die vorzugsweise metallisierten Einsätze 30 mit Aktiv-Lot in die Ausnehmungen 29 eingelötet und dann in dem gleichen Verfahrensschritt oder in einem anschließenden Verfahrensschritt die äußeren Kupferschichten 28 ebenfalls mit Aktiv-Lot befestigt.

Auch bei dieser Ausführungsform ist das Mehrfach-Substrat symmetrisch zu der Mittelebene M ausgebildet und insbesondere die Einsätze 30 dienen dazu, den Wärmeausdehnungskoeffizienten des Mehrfach-Substrates an der Montagefläche an den Wärmeausdehnungskoeffizienten des Chip-Materials anzupassen.

Fig. 7 zeigt schließlich als weitere sehr vereinfachte Ausführungsform ein Substrat 1d, welches den Vorteil des symmetrischen Aufbaus nicht aufweist und sich von dem Substrat 1b der Fig. 3-5 dadurch unterscheidet, daß zwar an der Oberseite der Kühlebene 23 die Schichten 24 und 28 vorgesehen sind, an der Unterseite des Substrates aber eine Metall- oder Kupferschicht 28' vorgesehen ist, die einen im Vergleich zur Kupferschicht 28 größere Dicke besitzt. Auch dieses Substrat 1d wird wiederum so hergestellt, daß in einem ersten gemeinsamen Arbeitsgang mit Hilfe des DCB-Verfahrens die die Kühlebene 23 bildenden Schichten, die Schicht 24 (mit dem Einsatz 27, aber ohne den Einsatz 30) und die Schicht 28' flächig miteinander verbunden werden. Im Anschluß daran erfolgt das Einsetzen und Befestigen des Einsatzes 30 durch Aktiv-Lot sowie das Befestigen der oberen Kupferschicht 28, ebenfalls mit Aktiv-Lot.

Weiterhin ist es bei den in den Fig. 3-7 dargestellten Ausführungsformen auch möglich, daß die Schicht 24 bzw. 24' oder die diese Schicht bildende Platte ihrerseits aus mehreren, mittels des DCB-Verfahrens miteinander verbundenen Einzel-Schichten besteht.

Weiterhin besteht auch die Möglichkeit, anstelle der Kupferschicht 28 Kupfer beispielsweise galvanisch auf der Schicht 24' und/oder 24 abzuschneiden, und zwar auf der oberen Schicht 24' selbstverständlich nach dem Einsetzen des Einsatzes 30.

Die vergrabene Bauweise, d. h. die Verwendung der Kupferschicht hat den Vorteil, daß hierdurch die Möglichkeit einer mechanischen Nachbehandlung der Oberflächen durch spanende Verfahren besteht. Weiterhin besitzt das Substrat 1c bzw. 1d dann auch optimale elektrische Eigenschaften, da die Kupferschicht 28 eine relativ große Dicke (größer als 100 µm) aufweist und damit einen ausreichend großen elektrischen Querschnitt für den Anschluß bzw. Betrieb der Hochleistungslaserdiodenanordnung 10 gewährleistet.

Alle beschriebenen Ausführungsformen haben den generellen Vorteil, daß die von dem Kühlmedium durchströmten Kanäle große Abmessungen aufweisen, diese Kanäle also als Makro-Kanäle einfach herstellbar sind. Da das Kühlmedium durch die Umlenkung seines Flusses direkt unterhalb des jeweiligen Bauelementes senkrecht auf eine dortige Fläche trifft, wird dort durch turbulente Strömung eine optimale Kühlwirkung erreicht. Durch die mehrschichtige Ausbildung des jeweiligen Kühlelementes bzw. Substrates unter Verwendung von Keramikschichten wird der Ausdehnungskoeffizient der Montagefläche an das für die Bauelemente verwendete Chip-Material angepaßt. Durch die relativ großen Querschnitte der Kanäle ist es weiterhin auch möglich, die Druckdifferenz des Druckens des Kühlmediums zwischen Zulauf und Ablauf innerhalb des Kühlelementes klein

zu halten, beispielsweise unter 1 bar. Hierdurch kann auch ein Kühlsystem realisiert werden, daß unterhalb des Umgebungsdruckes betrieben wird und in welchem daher ein Austreten von Kühlmedium wirksam verhindert ist.

Die Erfindung wurde voranstehend an Ausführungsbeispielen beschrieben. Es versteht sich, daß zahlreiche Änderungen sowie Abwandlungen möglich sind, ohne daß dadurch der der Erfindung zugrundeliegende Erfindungsgedanke verlassen wird.

So ist es beispielsweise möglich, weitere Schichten aus Keramik herzustellen, beispielsweise die Schicht 4, wobei zweckmäßigerweise aber diejenigen Schichten, die parallel zur Ebene des Substrates verlaufende Kanalabschnitte für das Kühlmedium bilden, d. h. im vorliegenden Fall die Schichten 3 und 5 aus Kupfer oder einem anderen, geeigneten Metall hergestellt sind.

Bezugszeichenliste

- 1, 1a, 1b, 1c, 1d Substrat
- 2 Keramikschicht
- 3-5 Kupferschicht
- 6 Keramikschicht
- 7, 7' Leiterbahn
- 8-10 elektrische Bauelemente
- 11-18 Öffnung
- 13', 13", 13''' Abschnitt der Öffnung 13
- 18', 18", 18''' Abschnitt der Öffnung 18
- 19, 20 Kupferschicht
- 21, 22 Öffnung
- 23 Kühlebene
- 23' Kühlkanal
- 23" Durchlaß
- 24, 24' Schicht
- 25 Kupferplatte
- 26 Ausnehmung
- 27 Keramikeinsatz
- 28, 28' Kupferschicht
- 29 Ausnehmung
- 30 Einsatz aus Diamant oder TcBn
- 31 Keramikschicht oder -Einsatz
- 32 Kupferschicht
- 33 Schicht
- 34 Kupferplatte

Patentansprüche

1. Diodenlaserbauelement bestehend zumindest aus einem Kühlelement sowie aus wenigstens einer Laserdiodenanordnung, die an einer Oberflächenseite des Kühlelementes an einer dortigen Montagefläche vorgesehen ist, wobei das Kühlelement als Mehrschichtelement aus mehreren stapelartig übereinander angeordneten und flächig miteinander verbundenen Schichten (2-6) besteht, die teilweise aus Metall und teilweise aus Keramik mit einem gegenüber Metall kleineren Wärmeausdehnungskoeffizienten bestehen, und von denen wenigstens ein Teil eine Kühlebene bildet, in der in wenigstens einer Schicht durch mindestens eine dortige Ausnehmung (13, 18) wenigstens ein sich in der Ebene dieser Schicht erstreckender und von einem Kühlmedium durchströmter Kühlkanal gebildet ist, und wobei Öffnungen oder Durchbrüche (11, 12, 14, 15, 16, 17) zum Zuführen und Abführen des den Kühlkanal durchströmenden Kühlmediums vorgesehen sind, dadurch gekennzeichnet, daß an beiden Oberflächenseiten des Kühlelementes jeweils eine Schicht (2, 6) aus Keramik vorgesehen ist, von denen eine Schicht

an der einen Oberflächenseite auch unter der Montagefläche angeordnet ist, um den Wärmeausdehnungskoeffizienten des Mehrschicht-Materials (1, 1a) so zu reduzieren, daß dieser zumindest an der Montagefläche kleiner ist als der Wärmeausdehnungskoeffizient des Metalls der Metallschichten und dem Wärmeausdehnungskoeffizienten des Chip-Materials der Laserdiodenanordnung (10) entspricht, und daß an beiden Oberflächenseiten auf der dortigen Schicht aus Keramik eine Vielzahl von Leiterbahnen oder Kontaktflächen (7, 7') für zusätzliche Bauelemente (8, 9, 10) vorgesehen ist.

2. Diodenlaserbauelement bestehend zumindest aus einem Kühlelement sowie aus wenigstens einer Laserdiodenanordnung, die an einer Oberflächenseite des Kühlelementes an einer dortigen Montagefläche vorgesehen ist, wobei das Kühlelement als Mehrschichtelement aus mehreren stapelartig übereinander angeordneten und flächig miteinander verbundenen Schichten (2, 6, 19, 20, 24, 24', 28) besteht, die teilweise aus Metall und teilweise aus einem Material bestehen, welches aus der Gruppe Keramik und/oder Diamant und/oder T-cBN ausgewählt ist und einen gegenüber Metall kleineren Wärmeausdehnungskoeffizienten besitzt, und von denen wenigstens ein Teil eine Kühlebene (23) bildet, in der in wenigstens einer Schicht durch mindestens eine dortige Ausnehmung (13, 18) wenigstens ein sich in der Ebene dieser Schicht erstreckender und von einem Kühlmedium durchströmter Kühlkanal (23') gebildet ist, und wobei Öffnungen oder Durchbrüche (11, 12, 14, 15, 16, 17, 23'') zum Zuführen und Abführen des den Kühlkanal durchströmenden Kühlmediums vorgesehen sind, dadurch gekennzeichnet, daß eine Schicht (24, 24') teilweise aus dem Material der Gruppe Keramik und/oder Diamant und/oder T-cBN besteht und mit diesem Material unter der Montagefläche angeordnet ist, so daß sie den Wärmeausdehnungskoeffizienten des Mehrschicht-Materials (1b, 1c, 1d) so reduziert, daß dieser zumindest an der Montagefläche kleiner ist als der Wärmeausdehnungskoeffizient des Metalls der Metallschichten und dem Wärmeausdehnungskoeffizienten des Chip-Materials der Laserdiodenanordnung (10) entspricht.

3. Diodenlaserbauelement nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die den Wärmeausdehnungskoeffizienten reduzierende Schicht (24, 24') zwischen der Montagefläche der Laserdiodenanordnung (10) und der Kühlebene (23) vorgesehen ist.

4. Diodenlaserbauelement nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß eine weitere, den Wärmeausdehnungskoeffizienten reduzierende Schicht (24, 24') an der der Laserdiodenanordnung (10) abgewandten Seite der Kühlebene (23) vorgesehen ist.

5. Diodenlaserbauelement nach einem der Ansprüche 2-4, dadurch gekennzeichnet, daß die den Wärmeausdehnungskoeffizienten reduzierende Schicht (24) zumindest unter der Montagefläche aus Diamant und/oder T-cBN besteht.

6. Diodenlaserbauelement nach einem der Ansprüche 2-5, dadurch gekennzeichnet, daß die den Wärmeausdehnungskoeffizienten des Kühlelementes reduzierende Schicht (24, 24') eine Metallschicht (25) ist, die wenigstens einen Einsatz (27, 30) aus Keramik oder Diamant oder T-cBN aufweist, der in eine Öffnung (26, 29) der Metallschicht (25) eingesetzt ist.

7. Diodenlaserbauelement nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß in der den Wärmeausdehnungskoeffizienten des Kühlelementes reduzierenden Schicht

(24') unmittelbar unterhalb der Montagefläche für die Laserdiodenanordnung (10) oder einer diese Montagefläche bildenden Metallisierung (28) ein Einsatz (30) aus Diamant oder T-cBN vorgesehen ist.

8. Diodenlaserbauelement nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Einsatz (27, 30) aus Keramik oder Diamant oder T-cBN eine vergrabene Struktur bildet.

9. Diodenlaserbauelement nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Einsatz (27, 30) aus Keramik oder Diamant oder T-cBN unter einer die Außenfläche des Kühlelementes oder die Montagefläche bildenden Metallschicht (28) oder Metallisierung angeordnet ist, die beispielsweise von einer Metallfolie oder -platte und/oder von einer galvanisch aufgetragenen Metallschicht gebildet ist.

10. Diodenlaserbauelement nach einem der Ansprüche 6-9, dadurch gekennzeichnet, daß der Einsatz aus Diamant oder T-cBN besteht und mittels Aktivlot an einer Fläche der Kühlebene (23) flächig befestigt ist.

11. Diodenlaserbauelement nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß an dem Einsatz aus Diamant oder T-cBN oder an einer an diesem Einsatz vorgesehenen Metallisierung die Laserdiodenanordnung (10) oder eine die Laserdiodenanordnung tragende Metallisierung oder Metallschicht (28) mittels Aktivlot befestigt ist.

12. Diodenlaserbauelement nach einem der Ansprüche 2-11, dadurch gekennzeichnet, daß der Teilbereich oder Einsatz (30) sich über wenigstens einen größeren Teil der Montagefläche erstreckt, vorzugsweise größer ist als die Montagefläche.

13. Diodenlaserbauelement nach einem der Ansprüche 2-12, dadurch gekennzeichnet, daß sich der Teilbereich oder Einsatz (30) über die größere Breite der Montagefläche erstreckt, vorzugsweise über eine Länge, die größer ist als die Länge der Montagefläche.

14. Diodenlaserbauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens ein zum Zuführen oder Abführen des Kühlmediums dienender Durchbruch (23'') in der Kühlebene unmittelbar unterhalb der Laserdiodenanordnung (10) vorgesehen ist.

15. Diodenlaserbauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Keramik der den Wärmeausdehnungskoeffizienten reduzierenden Schicht (2, 6, 24, 24') eine Aluminiumoxid-Keramik und/oder Aluminiumnitrid-Keramik und/oder BeO ist.

16. Diodenlaserbauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Metallschichten solche aus Kupfer sind.

17. Diodenlaserbauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die die wenigstens eine Kühlebene (23) bildenden Schichten Metallschichten sind.

18. Diodenlaserbauelement nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest die die wenigstens eine Kühlebene (23) bildenden Schichten und die den Wärmeausdehnungskoeffizienten reduzierende Schicht (2, 6, 24, 24') unter Verwendung der DCB-Technik flächig miteinander verbunden sind.

19. Diodenlaserbauelement nach einem der Ansprüche 2-18, dadurch gekennzeichnet, daß auf dem Kühlelement weitere elektrische Bauelemente (8, 9) vorgesehen sind.

20. Diodenlaserbauelement nach einem der vorherge-

BEST AVAILABLE COPY

henden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das
von den Schichten gebildete Mehrschichtmaterial hin-
sichtlich der Anordnung und/oder Ausbildung der
Schichten (2-6, 19, 20, 24, 24', 28) symmetrisch oder
im wesentlichen symmetrisch zu einer parallel zu den
Oberflächenseiten des Substrates verlaufenden Mittel-
ebene (M) ausgebildet ist.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

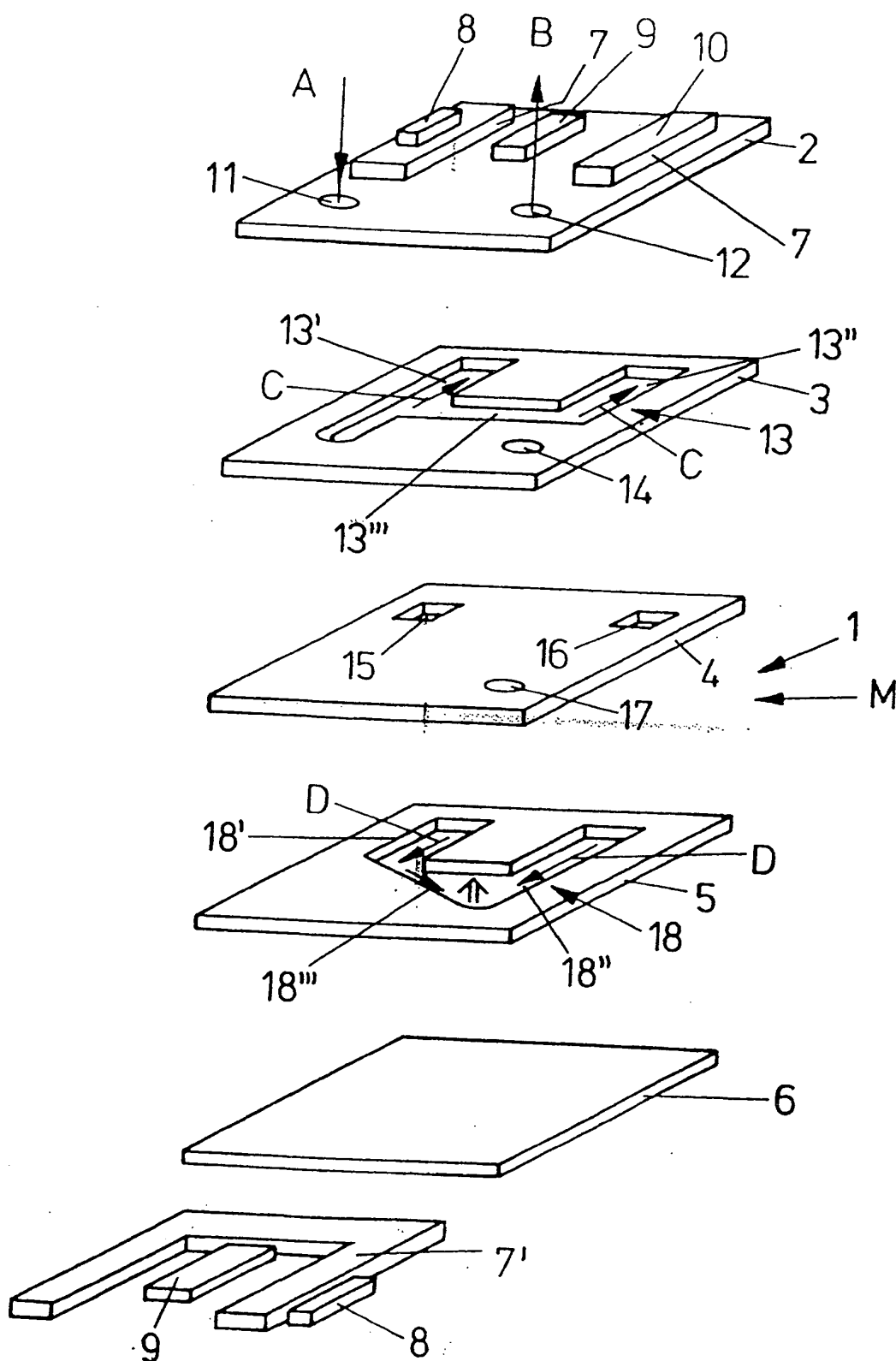
65

BEST AVAILABLE COPY

- Leerseite -

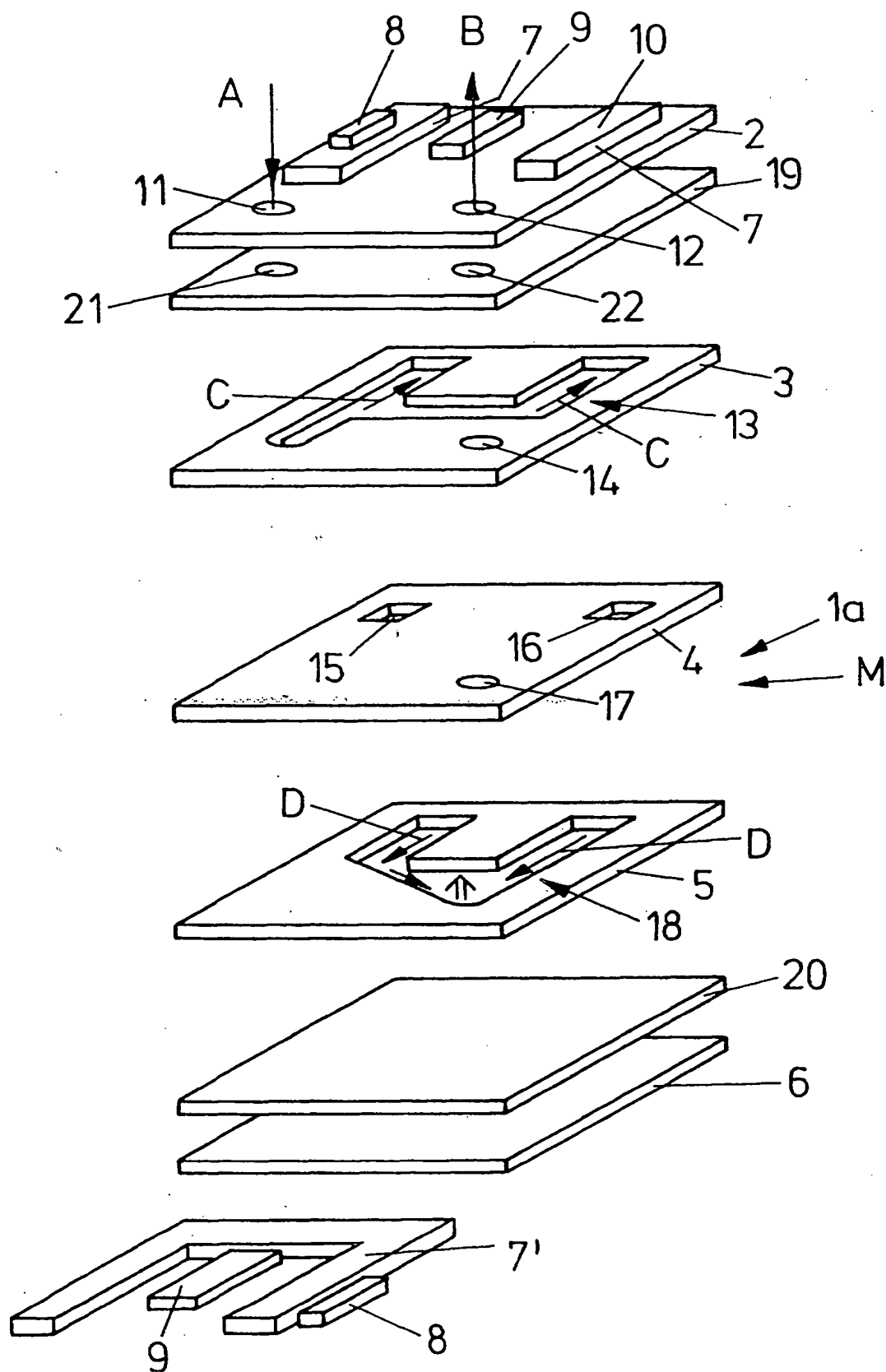
BEST AVAILABLE COPY

FIG.1



BEST AVAILABLE COPY

FIG.2



BEST AVAILABLE COPY

FIG.3

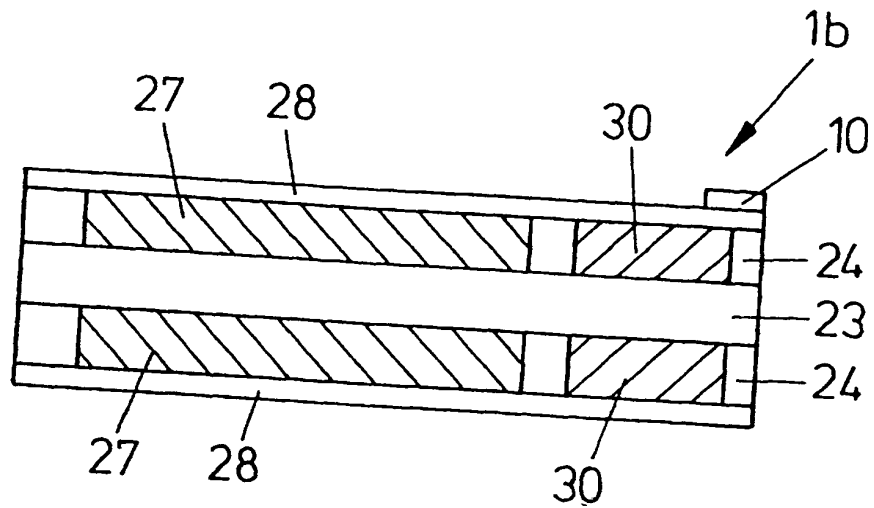
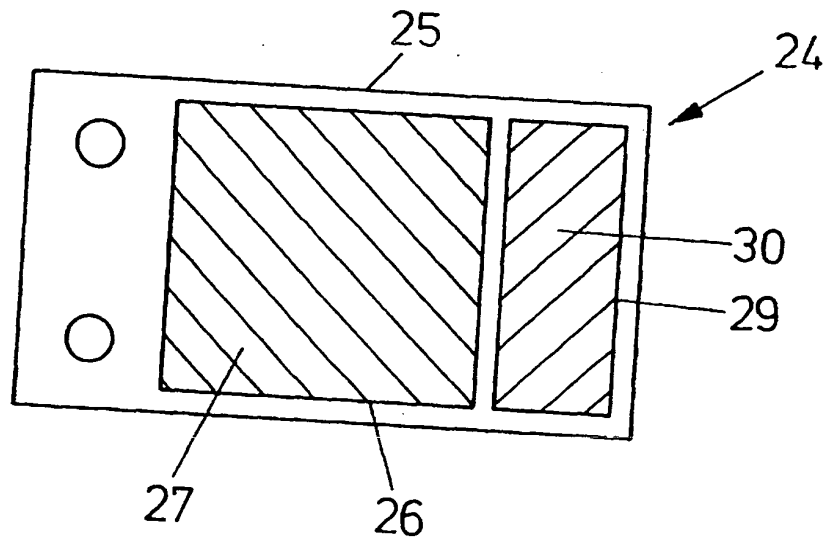


FIG.4



BEST AVAILABLE COPY

FIG.5

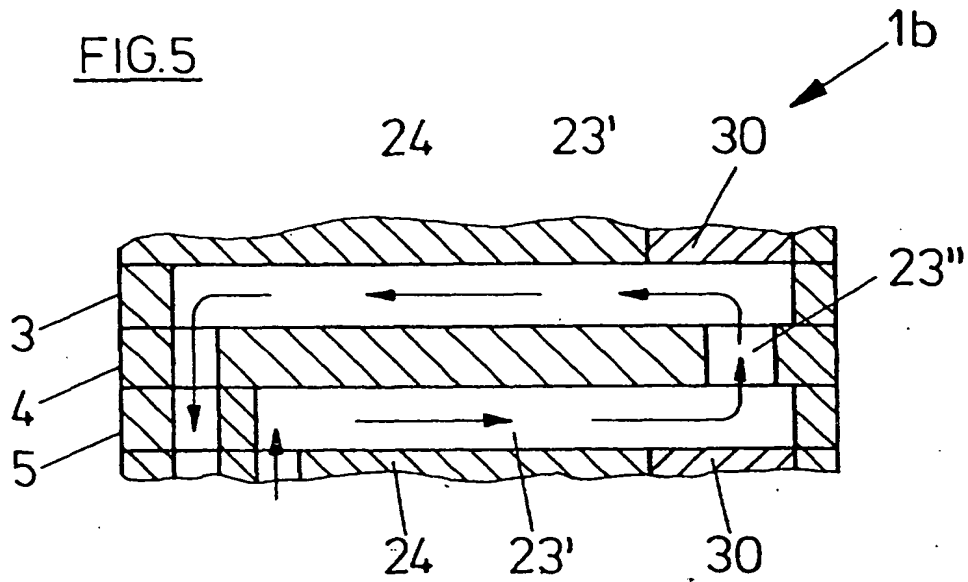
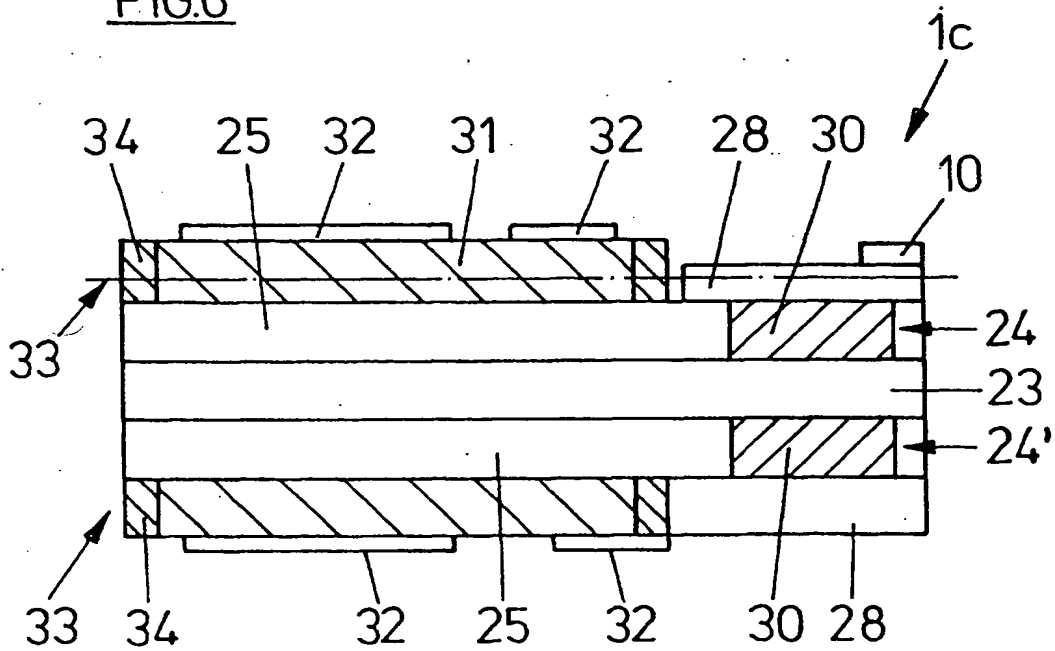
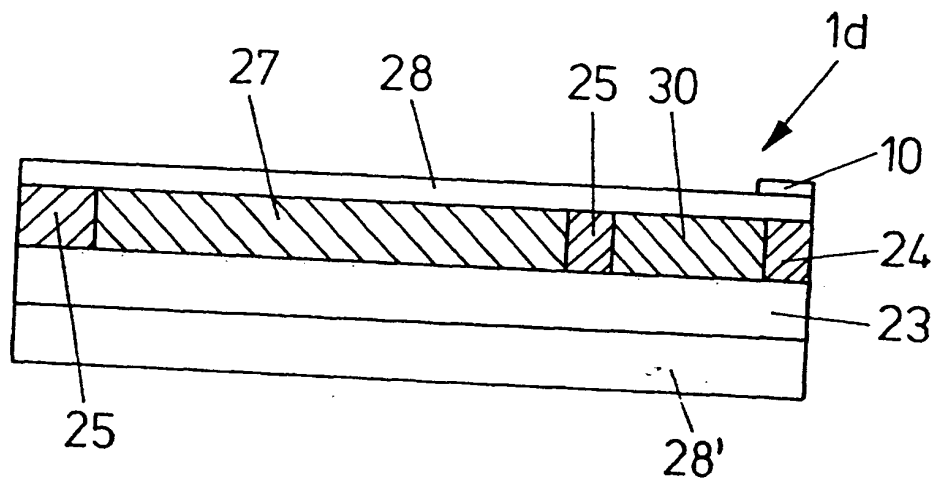


FIG.6



BEST AVAILABLE COPY

FIG.7



BEST AVAILABLE COPY